

システム・ダイナミックス法による 地下空間開発の波及効果に関する研究

本多 義明* 川上 洋司* 高田 茂樹**

A Study on the Estimation of Indirect Effects of Underground Space Development by the System Dynamics Model

Yoshiaki HONDA, Yoji KAWAKAMI, and Shigeki TAKADA

(Received Feb. 26, 1993)

This paper aims to grasp the indirect effects of underground space development in central area on the urban structure.

At first, based on the past data, the system dynamics(SD) model consisting of three sectors (population, land use, and trip sector) is built, and then the indirect effects of underground space development is estimated by the proposed SD model.

As a result, it is made clear that the SD model is applicable to estimate the indirect effects of underground space development and also that the underground space development should be effective for the vitalization of the urban central area.

1. はじめに

現在の福井市はD I D面積は増加しているものの、都心部では人口が都心の周辺へと移動したために密度が低くなりつつあり、人口面からみて空洞化している。しかし土地利用面からは商業・業務利用率の純化が進んでおり、一概に都心機能が衰退したとは言えない。実際に都心機能を左右するのは昼間人口であり、来街者がどのくらい集まるかであると言える。

都心の活性化をはかる上での解決すべき問題点は以下の3点である。

- ①都心アクセスの改善
- ②都心内モビリティの改善
- ③魅力の向上

* 環境設計工学科

** (株) 白石

この解決策として地下空間を利用した立体的整備が必要となりつつある。しかし、地下空間の開発は造り直しが効かないためマクロ的な観点で、周囲への関連性も考慮にいれる必要がある。本研究は地下空間開発が都市構造全体に及ぼす波及効果について事前に予測することを目的としている。

2. モデルの構造

2.1 SDモデルの構造

ここで作成するモデルは、福井市都心部における地下空間整備が当該地域環境に及ぼす波及効果をダイナミックに捉えるためのマクロ・モデルであり、当該地域環境の将来像を予測し、かつ評価するためのモデルである。地下空間整備は直接・間接的に地域社会にインパクトを与えるが、特に郊外に立地した大型ショッピング・センターに向いていた足を再び都心へと向けさせる来街効果を生む。都心空洞化が問題化している現在、整備による効果の具体的な将来推計値が出力できるモデルの作成は都心再開発における一つの方向性を示すものとして貴重かつ重要である。立体的整備の波及効果を具体的に捉えるために本モデルでは、人口セクター、土地利用セクター、トリップセクターの3つのセクターを設けた。この3セクター間には図-1に示されるように、互いに密接な関係が存在する。

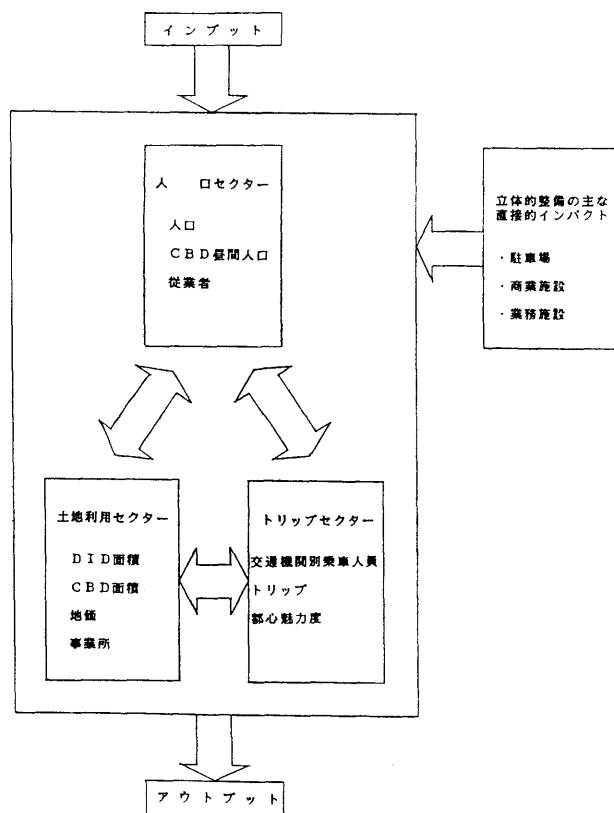


図-1 モデルの対象領域と各セクター間の関係

立体的整備は建設時に起こる直接的効果と完成後に生じる間接的効果の2つの効果を起こす。これらの因果序列をある時間における断面で捉え、内部で起こる波及効果を示し、本モデルの主要な因果関係を表したものが図-2である。以下にその因果関係を説明する。

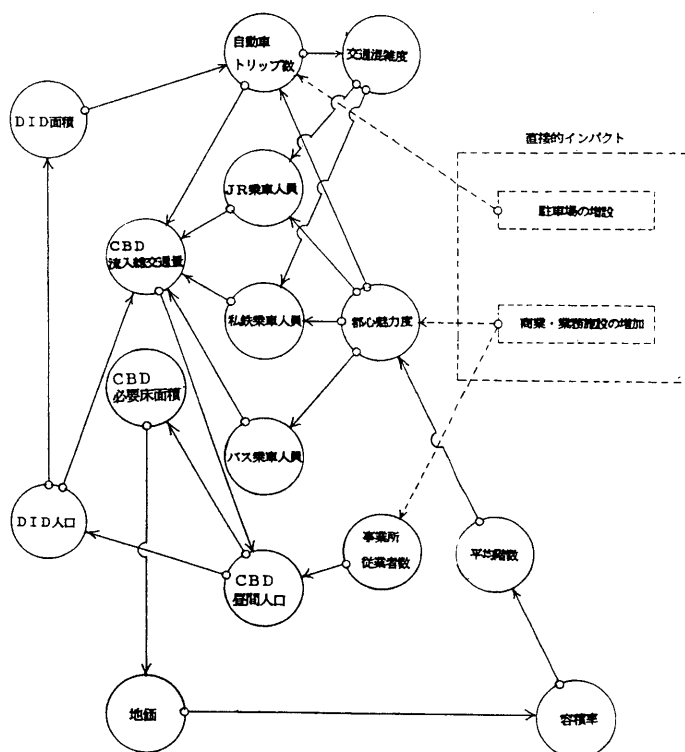


図-2 ある時間断面における因果連鎖図

(1) 直接的インパクト

(a) 交通への影響

都心の地下空間整備の一貫プロジェクトとして、大型地下駐車場整備が行われる。そのため都心アクセスに必要な駐車場が大幅に増加されることになる。

(b) 商業への影響

地下空間整備は地下駐車場以外に地下街の建設も行われる。そのために意図的な商業施設の誘致による商業店舗数の増加が起こる。

(2) 間接的インパクト

(a) 整備された駐車場により、周辺部からの自動車によるアクセスが容易になり自動車トリップ数が増加する。

(b) 商業・業務施設間の連結が強化され活性化する。

- (c) 連結強化による活性化は地下空間整備周辺の施設の再整備を生み、商業・業務施設が増加する。
- (d) 施設の増加に伴い総事業所従業者数が増加する。
- (e) 従業者数の増加によって都心部の昼間人口が増加する。
- (f) 商業・業務施設の増加に伴い土地の有効活用が起こり、地価が上昇する。
- (g) 地価の上昇から容積率が増加し、平均階数が上がる。
- (h) 地下空間整備により都心の魅力が向上する。
- (i) 魅力の向上から街来者が増加し、自動車を始めとする各交通機関（ＪＲ、私鉄、バス）の乗車人員が増加する。
- (j) 自動車トリップの大幅な増加は交通混雑を招く。
- (k) 交通混雑によりＪＲ、私鉄への依存が高まり乗車人員が増加する。
- (l) 都心の魅力が上昇することにより転出が抑制され転入人口が増加し、定着することにより人口が増加する。
- (m) 昼間人口の増加により周辺部の人口が増加し、ＤＩＤ人口が増加する。
- (n) ＤＩＤ人口の増加により、ＤＩＤ面積の拡大が起こる。

2.2 各セクターの概要と使用変数

設定された各セクター別にシステムの主要変数について示す。

（１）人口セクター

このセクターでは地下空間整備により変化する人口の動向について取り扱う。人口が本モデルにおける基本となる変数である。整備により都心部への街来者数の増加を図る。これにより都心部内の商業・業務施設の充実、ひいては従業者の増加を促す。従業者の増加は転出入口を抑制し、転入人口の増加を促す要因となり、人口の定着が起こる。人口の増加に伴い現状以上の住宅地面積、商店の増加が必要となり土地利用セクターへ、また都心への街来者の増加は都心流入トリップの増加を促しトリップセクターへと、各セクターへフィードバックされていく。

人口におけるプラス要因は転入人口、マイナス要因は転出入口である。これらの変数はそれぞれの経年的変動率を乗ずることによって決定される。この率は都心の魅力による影響を受け変動する。

事業所従業者数は人口と従業率を乗ずることによって求められ、第３次産業従業者数は事業所従業者数と第３次産業占有率によって求められる。ＣＢＤ昼間人口はＣＢＤ内の従業者人口と仮定して総従業者にＣＢＤ集中率を乗ずることによって求められる。表－１に人口セクターの変数リストを示す。

（２）土地利用セクター

このセクターでは都心内外での土地の利用形態について取り扱う。特に都心における土地利用は地下空間整備の一貫である地下街の建設によって商店の増加が見込まれている。都心部に残されている土地は少なく、今後の開発は立体的に進み、平均階数、容積率の上昇に結び付く。都心の整備はそのまま都心の魅力へとつながり、来街者の増加を促す。来街者の増加は、再び人口セクターへ、そして交通の増加からトリップセクターへと波及しフィードバックされる。宅地面積は人口の増加による宅地必要面積がプラス要因となりその加減によって求められ、住宅地面積は宅地面積に住宅

地率を乗じて求められる。CBD商店数は全商店数にCBD商店集中度を乗じて求められるがその他に将来推計時に直接的インパクトとして変動する。表-2に土地利用セクターの変数リストを示す。

表-1 人口セクターの変数リスト

記号	変数名	分類	ディメンジョン
NH	世帯数	補助変数	(世帯/年)
NHIR	世帯数増加率	定数	ディメンジョンなし
NPH	人口	レベル変数	(人)
PIM	転入人口	レイト変数	(人/年)
PIMR	転入率	定数	ディメンジョンなし
POM	転出人口	レイト変数	(人/年)
POMR	転出率	定数	ディメンジョンなし
NPE	総事業所従業者数	補助変数	(人/年)
NPE3	第3次産業従業者数	補助変数	(人/年)
NP30	第3次産業配分率	定数	ディメンジョンなし
PO	高齢者数	補助変数	(人/年)
DP	DID人口	補助変数	(人/年)
CEP	CBD昼間人口	レベル変数	(人)
CEPI	CBD昼間人口増加	レイト変数	(人/年)
CEPD	CBD昼間人口減少	レイト変数	(人/年)
NPER	従業員率	定数	ディメンジョンなし
DPGR	DID人口集中度	定数	ディメンジョンなし

表-2 土地利用の変数リスト

記号	変数名	分類	ディメンジョン
NAE	総事業所数	補助変数	(箇所/年)
NA30	第3次産業事業所数	補助変数	(箇所/年)
DA	DID面積	レベル変数	(K㎡)
DAI	DID面積増加	レイト変数	(K㎡/年)
DAIR	DID面積増加率	定数	ディメンジョンなし
DPD	DID人口密度	補助変数	(K㎡/人/年)
CA	CBD内延べ床面積	補助変数	(㎡/年)
CF	CBD内平均階数	補助変数	(階/年)
CC	CBD内容積率	補助変数	(%/年)
NS	商店数	レベル変数	(店舗)
NSI	商店数増加	レイト変数	(店舗/年)
NSD	商店数減少	レイト変数	(店舗/年)
NSIR	商店数増加率	定数	ディメンジョンなし
ACA	売り場面積	補助変数	(㎡/年)
CAPH	単位あたり売り場面積	定数	(㎡/店舗)
CNS	CBD内商店数	補助変数	(店舗/年)
CCA	CBD内売り場面積	補助変数	(㎡/年)
CCPH	単位あたりCBD内売り場面積	定数	(㎡/店舗)
NR	住宅棟数	補助変数	(棟/年)
HA	宅地面積	レベル変数	(ha)
HA I	宅地面積増加	レイト変数	(ha/年)
HAD	宅地面積減少	レイト変数	(ha/年)
RQA	住宅地面積	補助変数	(ha/年)
VH	宅地評価額	補助変数	(億円/年)
VHP	単位あたり宅地評価額	定数	(円/㎡)
RQAR	住宅地率	定数	ディメンジョンなし

(3) トリップセクター

このセクターでは地下空間整備により生成した交通の変動を取り扱う。整備の一貫である大型地下駐車場によって自動車トリップの増加が図られる。自動車トリップの増加はそのまま都市魅力度の一指標として用いられ、魅力の向上を促す。魅力の上昇はその他の交通機関にも波及し乗車人員の増加を促す。表-3にトリップセクターの変数リストを示す。

2.3 フロー・ダイアグラムの作成

ここでは選択された変数の定義に従ってフロー・ダイアグラムを作成する。フロー・ダイアグラムは、因果関係ループをレベルやレイトに仕分けし、補助関数や定数を用いてレイトのサブ構造を決定し、これらの関係を簡単な記号を用いてモデル化したものであり、図3～5に人口、土地利用、トリップセクターのフロー・ダイアグラムを示す。

表-3 トリップセクターの変数リスト

記号	変数名	分類	ディメンジョン
JRA	JR乗降者人員	レベル変数	(人)
JRAI	JR乗降者人員増加	レイト変数	(人/年)
JRAD	JR乗降者人員減少	レイト変数	(人/年)
JRAR	JR乗降者人員増減率	定数	ディメンジョンなし
PRA	私鉄乗降者人員	レベル変数	(人)
BA	バス乗降者人員	レベル変数	(人)
PRAI	私鉄乗降者人員増加	レイト変数	(人/年)
PRAD	私鉄乗降者人員減少	レイト変数	(人/年)
BAI	バス乗降者人員増加	レイト変数	(人/年)
BAD	バス乗降者人員減少	レイト変数	(人/年)
PRAR	私鉄乗降者人員増減率	定数	ディメンジョンなし
BADR	バス乗降者人員増減率	定数	ディメンジョンなし
PC	CBD内駐車場容量	レベル変数	(台)
BH	都市流入交通量	補助変数	(台)
PCI	CBD内駐車場容量増加	レイト変数	(台/年)
OR	都市流入混雑度	補助変数	ディメンジョンなし
CTC	都市流入路容量	定数	(台/日)
ACR	都市魅力度	レベル変数	ディメンジョンなし
ACRI	都市魅力度増加	レイト変数	ディメンジョンなし
ACRD	都市魅力度減少	レイト変数	ディメンジョンなし
PMP	駐車場処理能力	補助変数	ディメンジョンなし
TT	都市総トリップ	補助変数	ディメンジョンなし
HOLC	自動車登録台数	補助変数	(台/年)

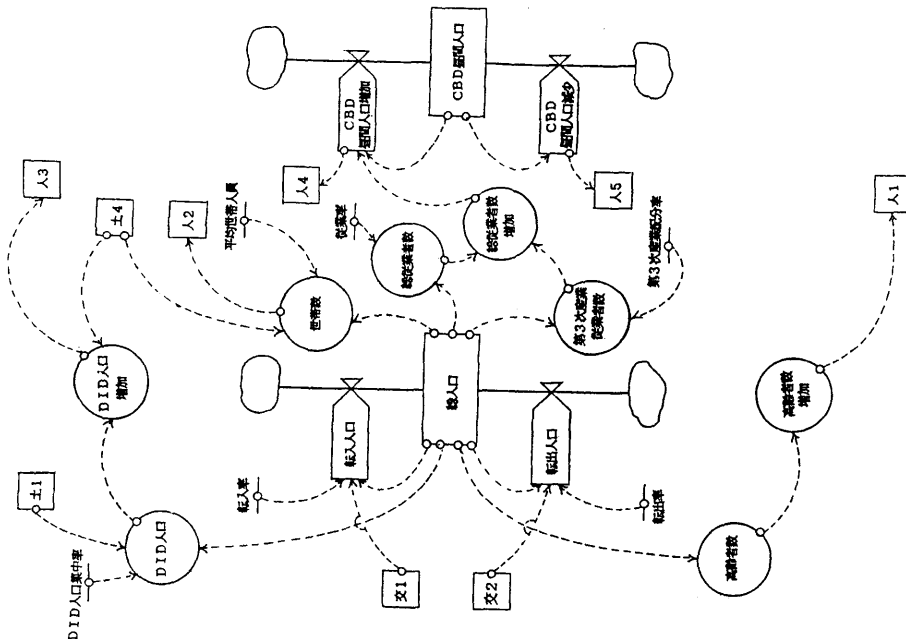


図-3 人口セクター・フロー・ダイアグラム

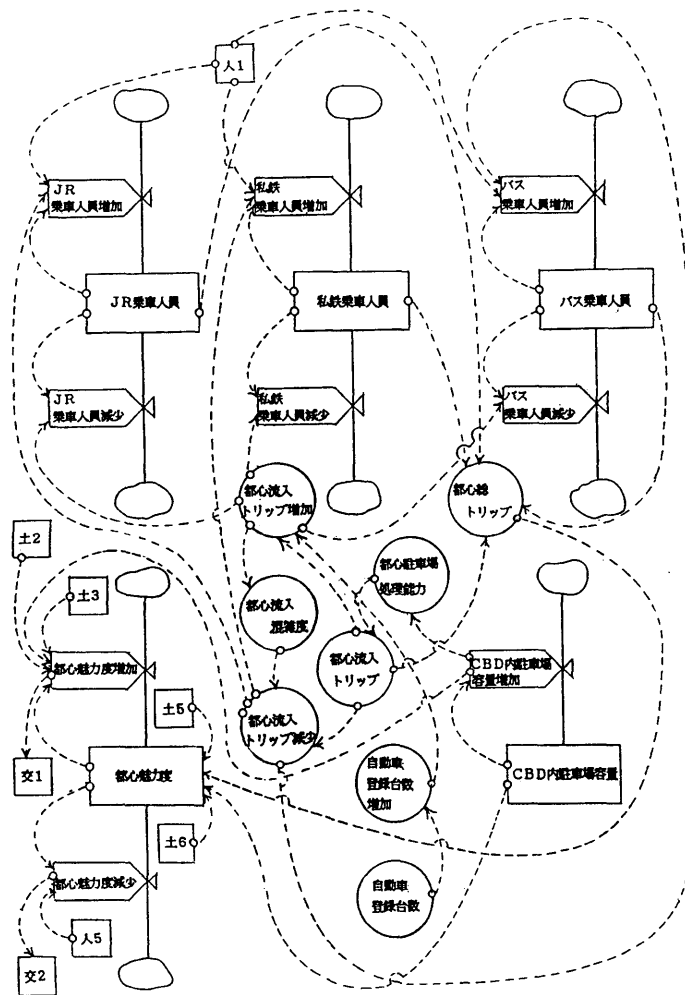


図-5 トリップセクター・フロー・ダイアグラム

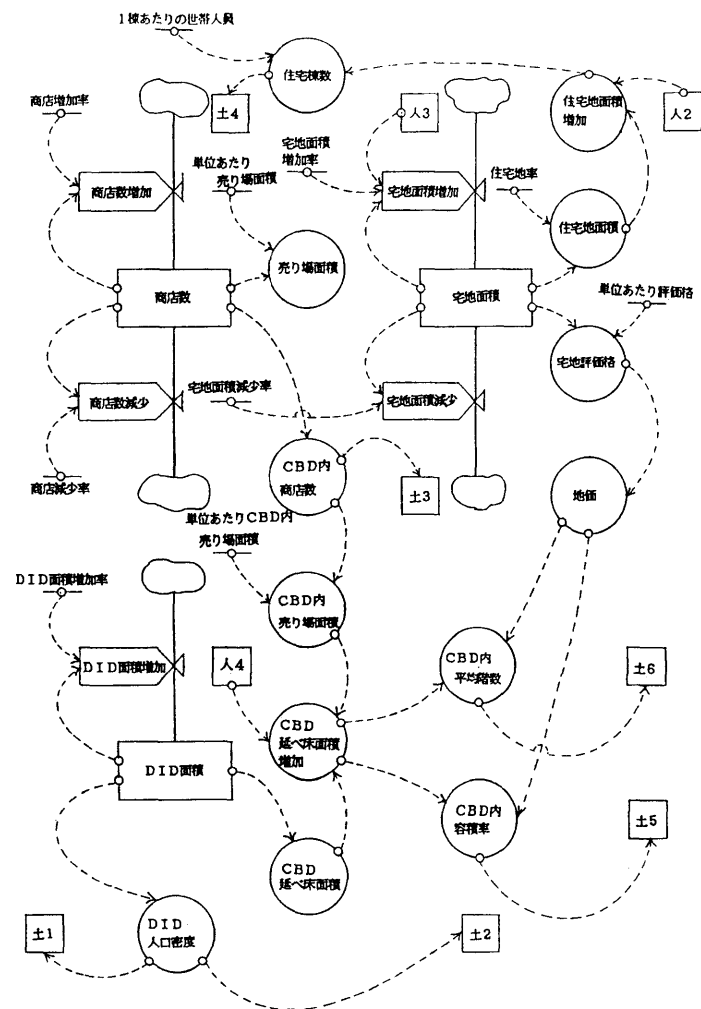


図-4 土地利用セクター・フロ・ダイアグラム

2.4 構造方程式の構築

構造方程式は、複雑なフロー・ダイアグラムの本一のフロー単位で捉えて文字または記号を用いて形式化するものである。

さらに構造方程式には、日常使用している言語を用いる“名詞型”と使用する変数を記号化して方程式を構築する“記号型”に大別される。ここでは名詞型で表現することとする。（表4～6）

3. シミュレーション結果と検討

ここでは、先に構築されたSDモデルの再現性の検討を行う。SD法は従来の技法とは異なり、全く新しい発想によってモデルが構築されているため、有効性を論ずる際、従来の考え方に立脚しても意味をなさない。SD法はシステムの構造を把握し、それに対応してシステムの動的挙動を理解するという構造依存型の技法が用いられている。従ってシステムの状態を表すレベル変数の挙動が過去、現在、未来において全てが専門家もしくは実務家の視点からみて矛盾がなく、全体的に合理的で、妥当なスケールの範囲に収まっていればそのモデルの有効性は高いといえる。そこで、本研究において構築されたモデルの有効性をするために、1976～1989年までをシミュレートし、リアルデータとシステムから出力されたデータのレベル及び補助変数の残差率を用いて妥当なスケール範囲を10%前に設定し、各セクターごとに適合度及び有効性の検討を行う。

表－4 人口セクターの名詞型構造方程式

世帯数＝前期世帯数×世帯数増加率
平均世帯人員＝前期平均世帯数×平均世帯数増加率
総人口＝世帯数×平均世帯人員
① 転入人口＝総人口×転入率
② 転出人口＝総人口×転出率
総事業所従業者数＝総人口×従業率
第3次産業従業者数＝総従業者数×第3次産業配分率
高齢者数＝総人口×高齢者率
高齢者率＝前期高齢者率×高齢テーブル
D I D人口＝総人口×D I D人口集中度
③ C B D内昼間人口＝総従業者数×C B D内昼間人口集中度
<定数>・世帯数増加率　・従業率　・第3次産業配分率
・高齢者率　・D I D人口集中度　・転入率　・転出率
・C B D内昼間人口集中度

表－５ 土地利用セクターの
名詞型構造方程式

$$\begin{aligned}
 & \text{総事業所数} = \text{総事業所従業者数} \div \text{単位当たり従業者人員} \\
 & \text{第3次産業事業所数} = \text{総事業所数} \times \text{第3次産業事業所占有率} \\
 & \text{第3次産業事業所占有率} = \text{前期第3次産業事業所占有率} \\
 & \quad \times \text{第3次テーブル} \\
 & \text{D I D面積} = \text{前期D I D面積} \times \text{D I D面積増加率} \\
 & \textcircled{4} \text{D I D人口密度} = \text{D I D人口} \div \text{D I D面積} \\
 & \text{C B D内延べ面積} = \text{前期C B D内延べ面積} \\
 & \quad \times \text{C B D内延べ面積増加率} \\
 & \text{C B D内平均階数} = \text{前期C B D内平均階数} \\
 & \quad \times \text{C B D内平均階数増加率} \\
 & \text{C B D内容積率} = \text{前期C B D内容積率} \\
 & \quad \times \text{C B D内容積率増加率} \\
 & \text{商店数} = \text{前期商店数} \times \text{商店数増加率} \\
 & \text{売り場面積} = \text{商店数} \times \text{単位当たり売り場面積} \\
 & \textcircled{5} \text{C B D内商店数} = \text{商店数} \times \text{C B D集中率} \\
 & \text{C B D売り場面積} = \text{売り場面積} \times \text{C B D売り場面積率} \\
 & \text{住宅棟数} = \text{総人口} \div 1 \text{棟当たりの世帯人員} \\
 & \text{宅地面積} = \text{前期宅地面積} \times \text{宅地面積増加率} \\
 & \text{住宅地面積} = \text{宅地面積} \times \text{住宅地率} \\
 & \text{宅地評価額} = \text{宅地面積} \times 1 \text{㎡当たりの評価額} \\
 \\
 & \text{＜定数＞} \cdot \text{単位当たり従業者人員} \quad \cdot \text{D I D面積増加率} \\
 & \quad \cdot \text{C B D内延べ面積増加率} \quad \cdot \text{C B D内平均階数増加率} \\
 & \quad \cdot \text{C B D内容積率増加率} \quad \cdot \text{商店数増加率} \\
 & \quad \cdot \text{単位当たり売り場面積} \quad \cdot \text{C B D集中率} \\
 & \quad \cdot \text{C B D売り場面積} \quad \cdot 1 \text{棟当たりの世帯人員} \\
 & \quad \cdot \text{宅地面積増加率} \quad \cdot \text{住宅地率} \quad \cdot 1 \text{㎡当たりの評価額}
 \end{aligned}$$

表－６ トリップセクターの
名詞型構造方程式

$$\begin{aligned}
 & \text{J R乗降者数} = \text{前期J R乗降者数} \times \text{J R乗降者数増加率} \\
 & \text{私鉄乗降者数} = \text{前期私鉄乗降者数} \times \text{私鉄乗降者数増加率} \\
 & \text{バス乗降者数} = \text{前期バス乗降者数} \times \text{バス乗降者数増加率} \\
 & \text{C B D内駐車場容量} = \text{前期C B D内駐車場容量} \\
 & \quad \times \text{C B D内駐車場容量増加率} \\
 & \text{交通混雑度} = \text{都心流入交通量} \div \text{交通容量} \\
 & \text{都心流入交通量} = \text{C B D内昼間人口} \div \text{流入交通量増加率} \\
 & \textcircled{6} \text{駐車場処理能力} = \text{C B D内駐車場容量} \div \text{都心流入交通量} \\
 & \textcircled{7} \text{都心流入総トリップ} = \text{J R乗降車人員} + \text{私鉄乗降車人員} \\
 & \quad + \text{バス乗降車人員} + \text{都心流入交通量} \\
 & \text{都心魅力度} = (\textcircled{1} / 9134 + \textcircled{2} / 9342 + \textcircled{3} / 35020 + \textcircled{4} / 6235 \\
 & \quad + \textcircled{5} / 1738 + \textcircled{6} / 0.03289 + \textcircled{7} / 142000) \div 5 \\
 & \text{自動車保有率} = \text{前期自動車保有率} \times \text{保有テーブル} \\
 & \text{自動車登録台数} = \text{総人口} \div \text{自動車保有率} \\
 \\
 & \text{＜定数＞} \cdot \text{J R乗降者数増加率} \quad \cdot \text{私鉄乗降者数増加率} \\
 & \quad \cdot \text{バス乗降者数増加率} \quad \cdot \text{C B D内駐車場容量増加率} \\
 & \quad \cdot \text{流入交通量増加率} \quad \cdot \text{保有テーブル} \quad \cdot \text{交通容量}
 \end{aligned}$$

3-1 再現性の検討

(1) 人口セクター

人口セクターでの 1976 ～ 1989 年までをシュミレートし結果を表-7、8 図-6、7 に示す。

表-7 シュミレーション結果 人口

年度	リアルデータ	システムデータ	残差	残差率
1976	233,085	232,078.3	-1,006.70	-0.4319%
1977	235,080	233,037.2	-2,022.80	-0.8605%
1978	236,851	234,439.7	-2,411.30	-1.0181%
1979	238,599	242,443.5	3,844.50	1.6113%
1980	240,885	243,052.4	2,167.40	0.8998%
1981	242,331	244,174.7	1,843.70	0.7608%
1982	243,857	245,382.2	1,525.20	0.6254%
1983	245,535	246,746.8	1,211.80	0.4935%
1984	247,293	248,194.9	901.98	0.3647%
1985	249,393	249,269.3	-123.70	-0.0496%
1986	249,893	250,190.1	297.10	0.1189%
1987	251,566	251,568.9	2.90	0.0012%
1988	251,712	252,171.1	459.10	0.1824%
1989	252,870	253,055.1	185.10	0.0732%

表-8 シュミレーション結果 CBD内昼間人口

年度	リアルデータ	システムデータ	残差	残差率
1976	34,383	35,309.3	926.30	2.6941%
1977	34,637	35,248.3	611.30	1.7649%
1978	34,891	35,252.2	361.20	1.0352%
1979	35,145	36,240.4	1,095.40	3.1168%
1980	35,399	36,115.6	716.60	2.0244%
1981	35,653	36,065.6	412.60	1.1573%
1982	35,538	36,026.0	488.00	1.3732%
1983	35,422	36,007.3	585.30	1.6524%
1984	35,307	35,998.2	691.20	1.9577%
1985	35,181	35,932.7	741.70	2.1076%
1986	35,076	35,843.2	767.20	2.1873%
1987	34,961	35,817.4	856.40	2.4496%
1988	34,845	35,679.2	834.20	2.3940%
1989	34,730	35,579.5	849.50	2.4460%

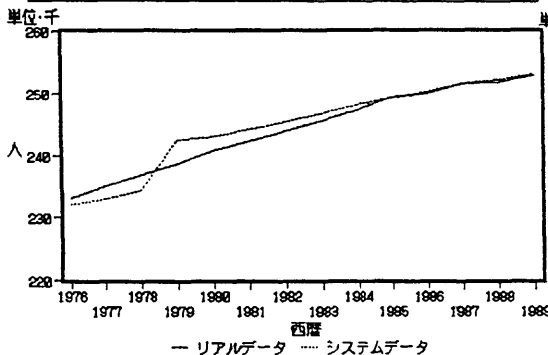


図-6 シュミレーション結果 人口

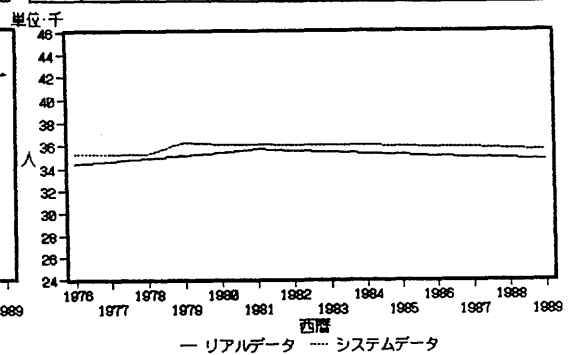


図-7 シュミレーション結果 CBD内昼間人口

総人口は人口セクターのみならず、土地利用、トリップセクターにおいても最も基本となるレベル変数であり、その変数の精度如何がモデルの有効性の目安となり、またモデルそのものの適合度に大きな変化を与える要因となる。

$$\text{残差} = \text{システムデータ} - \text{リアルデータ}$$

$$\text{残差率} = \frac{\text{残差}}{\text{リアルデータ}}$$

当然、残差率（パーセント表示）が低いほど高い適合を表している。総人口の残差率をみるとほとんどが1%未満であり、14年間の中で1%を超えるのが2年しかなく、しかも最高値で1.61%となっており、非常に高い精度で適合しているといえる。総人口の経年的変化はほぼ一定の伸び率で単調に増加しているレベル変数あるためモデルの構造上比較的容易にシュミレートが可能となったのである。

もう1つのレベル変数であるCBD昼間人口は総人口の精度ではないが最高値が3.21%となって

おり、スケール範囲を10%前後と規定したことから精度は高い方であるといえる。

(2) 土地利用セクター

このセクター内には3つのレベル変数が存在しているがD I D面積及び商店数はレベルを決定するレイト変数に外生的にインパクトを与えているため、リアルデータとシステムデータがほぼ一致し、解析に適さない。

表-9、図-8に示すレベル変数である宅地面積では、全ての残差率が3%未満であり、かなり高い精度であるといえる。

表-9 シミュレーション結果 宅地面積

年度	リアルデータ	システムデータ	残差	残差率
1976	2,483	2,500.2	17.20	0.6927%
1977	2,569	2,517.8	-51.20	-1.9930%
1978	2,637	2,546.9	-90.10	-3.4168%
1979	2,719	2,732.7	13.70	0.5039%
1980	2,771	2,748.4	-22.60	-0.8156%
1981	2,813	2,779.9	-33.10	-1.1767%
1982	2,838	2,816.7	-21.30	-0.7505%
1983	2,857	2,861.6	4.60	0.1610%
1984	2,889	2,912.8	23.80	0.8238%
1985	3,017	2,953.4	-63.60	-2.1081%
1986	3,061	2,990.5	-70.50	-2.3032%
1987	3,108	3,049.3	-58.70	-1.8887%
1988	3,147	3,076.4	-70.60	-2.2434%
1989	3,202	3,118.4	-83.60	-2.6109%

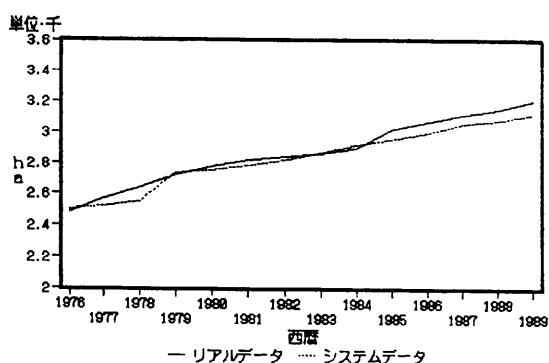


図-8 シミュレーション結果 宅地面積

(3) トリップセクター

レベル変数及び補助変数において、JR、私鉄、バス乗車人員を含む全ての変数の残差率が4%未満と、非常に高い適合度を示している。これも土地利用セクターと同様にレベル変数を決定させるレイト変数に外生的なインパクトを与えたことにより、レベル変数の適合の高さとなり、またそのまま補助変数に影響を与えているためと考えられる。このことからトリップセクターにおいても再現性は高いといえる。表-10、図-9に都心流入交通量についての結果を示す。

以上、各セクターごとに再現性の

表-10 シミュレーション結果 都心流入交通量

年度	リアルデータ	システムデータ	残差	残差率
1976	122,769	126,149.7	3,380.70	2.7537%
1977	122,927	125,260.4	2,333.40	1.8962%
1978	123,085	124,610.1	1,525.10	1.2391%
1979	123,242	127,427.7	4,185.70	3.3963%
1980	123,400	126,344.7	2,944.70	2.3863%
1981	124,039	126,169.6	2,130.60	1.7177%
1982	124,679	126,031.2	1,352.20	1.0845%
1983	125,318	125,965.6	647.60	0.5168%
1984	124,103	125,933.7	1,830.70	1.4751%
1985	122,887	125,704.6	2,817.60	2.2928%
1986	125,902	128,606.9	2,704.90	2.1484%
1987	128,918	131,809.4	2,891.40	2.2428%
1988	131,933	134,667.5	2,734.50	2.0726%
1989	134,948	137,734.8	2,786.80	2.0651%

検討を行ったが、本モデルの全体の有効性についてまとめる。再現性の検討結果は各セクターとも良好な値を示している。検定の設定条件として、妥当なスケール範囲（フル・レンジ）を10%と仮定したが、検定の対象となる全ての変数がフル・レンジ内を満たしており、しかも5%未満に収まっている。

これは本モデルがかなり高い精度をもって再現されることを意味しており、本モデルは福井市における地下空間整備による動的挙動を、良好に描写できる有効的なモデルであるといえる。

福井市都心部の立体的整備による波及効果を推定するために用いられたモデルのもう1つの特徴として、評価関数的変数の設定及び導入が挙げられる。評価関数は概念的評価値を出力するものであり、このような視点に立った変数を取り扱うことは不可能であった。この変数を取り扱えるようになったのがモデルの1つの特徴である。この関数は基本的に統計的処理がなされている（定量化されている）変数ではなく、ある時点でのある要因の数値との兼ね合いによって決定されるため、再現性の検討は不可能である。

本モデルにおいて用いられている評価関数的変数は表-11、図-10に示す“都心魅力度”である。有効性については考察が加えられないまでもこの変数が他の内生変数により与えられることから、将来の都市構造の動的挙動を捉えるための1指標として取り上げる有意性はある。

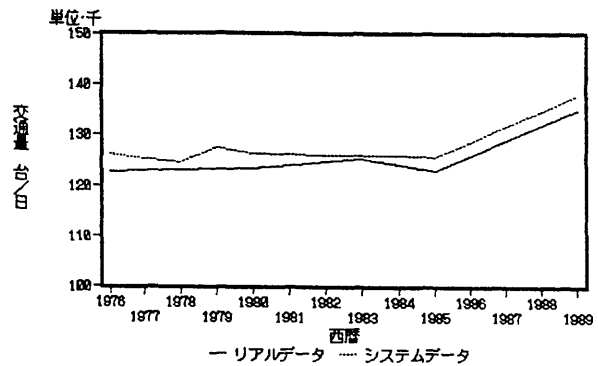


図-9 シュミレーション結果 都心流入交通量

表-11 シュミレーション結果 都心魅力度

年度	システムデータ
1976	0.995
1977	0.965
1978	0.980
1979	1.002
1980	1.016
1981	1.021
1982	1.043
1983	1.039
1984	1.031
1985	1.026
1986	1.016
1987	1.011
1988	1.003
1989	1.009

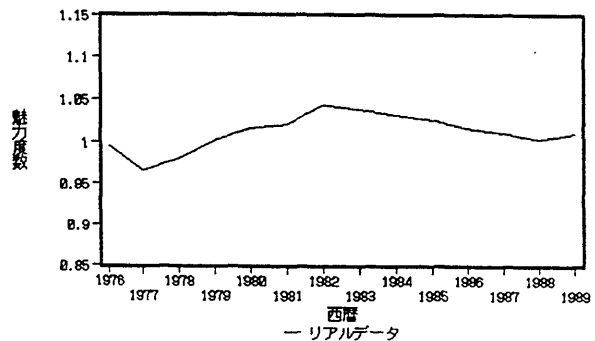


図-10 シュミレーション結果 都心魅力度

3-2 将来推計

(1) ケースの設定

ここでは、前節で現況再現が可能となったモデルを用いて、地下空間整備計画に基づき将来ケースに対して、都市構造の波及効果を定量的に捉える動的挙動の検討を行う。ケースの設定は以下のとおりである。

- ・ケース1 … 現況のままで都心にインパクトを与えず、都市が成長し続けた場合
- ・ケース2 … 福井市整備計画が実現した場合
- ・ケース3 … ケース2 + 本研究で計画された地下空間整備が行われた場合

ケース2は、現在進行中の福井市駐車場整備計画が実現したケースで、都心部の対象路線として、駅前大道り西側区間の公共用地である道路を想定しており、路線地下に大型地下駐車場（平成4年に250台、7年に350台）を建設するという整備計画である。大型駐車場の増設は本モデルに直接的インパクトとしてインプットされ、インパクトによって変化した関連要因をアウトプットする。

ケース3はケース2が実現され、かつ本研究で計画された地下空間整備が行われたと仮定したケースであり、整備の工期終了・供用開始を2000年と設定し、直接的インパクトとして、地下駐車場（CBD内駐車場容量 1500台）及び地下街（CBD内商店数 300店舗）が、2000年に加算され、インプットされる。アウトプットとしては1992、1995、2000年の3段階に変化がみられる。

(2) 推計結果

各推計結果を見ると全体的にケース1に対しケース2が、さらに2より3の方が大きな値を示している。これは明らかにインパクトが与えられたことを示唆している。

その結果を具体的に捉えるため、以下の計算式によってインパクト量及びインパクト率を定義し、結果を表-12に記す。

$$\begin{aligned} \text{インパクト量} &= (\text{ケース2又は3の値}) - (\text{ケース1の値}) \\ \text{インパクト率} &= (\text{インパクト量}) \div (\text{ケース1の値}) \end{aligned}$$

※ 値は2010年の推計値を用いる

表-12より、特にCBD内駐車場容量がケース2、3の中でそれぞれ最も大きなインパクト率を示している。

ケース2の場合、駐車場増設のみが直接的インパクトとしてインプットされたが、僅かではあるがCBD内商店数及び売り場面積を除くほとんどの指標にインパクトを与えていることが伺える。中でも特に都心の魅力度にインパクトを与えており、都心魅力度の向上に伴う公共交通へのインパクトと転入・転出口へのインパクトが顕著である。駐車場の増設に対して自動車交通へのインパクトが低いのは一見不自然であるが、交通混雑による交通量の抑制が原因となり交通量のみでみると変化がほとんどないといえる。

ケース3の場合、ケース2に加え駐車場の更なる増設と商業施設の増加が直接インパクトとしてインプットされている。そのため、ケース2よりも高いインパクト率（42.356%）となり全てのイ

ンパクト率の中で最も高く、また都心魅力度の率も高い（25.098％）。駐車場のみの開発には変化しなかったCBD内商店数も地下街によって増加され、インパクト率も高くなっている。このインパクトはケース1以上にシステムの中で波及し全ての指標にインパクトを与えている。

表－12 ケース別主要な指標のインパクト量とインパクト率

指標	単位	2010年推計値			インパクト量		インパクト率(%)	
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース2	ケース3	ケース2	ケース3
総人口	人	270,847	271,632	275,123	985	4,277	0.364	1.579
転入人口	人	8,067	8,480	10,036	413	1,969	5.117	24.412
転出人口	人	12,365	11,763	9,939	-602	-2,426	-4.869	-18.622
総事業所従業者数	人	160,341	160,925	162,873	583	2,532	0.364	1.579
第3次産業従業者数	人	117,851	118,279	119,712	429	1,861	0.364	1.579
総事業所数	人	21,697	21,776	22,040	79	343	0.364	1.579
CBD内昼間人口	人	33,030	33,150	33,552	120	522	0.364	1.579
CBD内商店数	店舗	1,237	1,237	1,537	0	300	0.000	24.250
CBD内売場面積	㎡	491,827	491,827	611,101	0	119,274	0.000	24.251
CBD内平均階数	階	3.45	3.46	3.50	0.01	0.05	0.359	1.562
DID人口密度	人/㎢	3,940	3,954	4,002	14	62	0.366	1.579
宅地面積	ha	4,421	4,489	4,760	69	339	1.556	7.676
宅地評価額	億円	29,843	30,308	32,134	464	2,291	1.556	7.677
住宅地面積	ha	2,166	2,200	2,332	34	166	1.556	7.678
JR乗車人員	人	8,316	8,734	10,323	418	2,007	5.026	24.131
私鉄乗車人員	人	1,685	1,770	2,092	85	407	5.032	24.138
バス乗車人員	人	298	312	369	15	72	5.008	24.134
都心流入交通量	台	195,841	196,553	198,933	712	3,092	0.364	1.579
自動車保有台数	台	376,602	378,172	382,751	1,371	5,950	0.364	1.579
CBD内駐車場容量	台	4,956	5,556	7,058	600	2,100	12.102	42.356
都心魅力度	—	0.814	0.856	1.018	0.043	0.204	5.281	25.098

経年的な変化を各セクターの代表的変数について、その挙動を捉えると、①人口セクターで、表－13、図－11に示す総人口は滑らかな上昇線を描いていたがケース1の最初のインパクトである1992年から差異が生じているが、それほどの変化はない。ところが2000年から大きな増加傾向を示す。

②土地利用セクターで、インパクトにより表－14、図－12に示す宅地面積は増加される。それに呼応して宅地評価額も上昇しているが、本モデルには福井市全体の宅地評価額を用いたために、都心部の地価の上昇を検討することは不可能である。しかし市全体の上昇傾向から都心部においても上昇しているものと推測される。

③トリップセクターで、評価関数である表－15、図－13に示す都心魅力度のインパクト率はかなり高い。将来推計において都心魅力の概念は街来効果を促す要因として重要な変数である。都心魅力の上昇はそれに伴って、これまで低下傾向にあった公共交通の一時的な上昇を促すという結果が得られた。これは自動車の都心流入交通量の増加によって混雑が発生し、交通量がある程度抑制され、その分が公共交通へと転換されたためと考えられる。

全体的にみるとケース1のままだでも人口を含むマクロ的な指標は上昇しているが、都心部では商店数の減少に反して従業者、平均階数、売り場面積の増加の動向より商業・業務施設の大型化が起こると考えられ、商業・業務地区としての純化が進むといえる。さらにケース2、3とインパクト

量に変化し都心魅力度が向上するにつれて、転出人口が抑えられ、また公共交通の利用率の増加などにより、その変化は顕著にあらわれるといえる。

表-13 人口の将来推計値

西暦	ケース1	ケース2	ケース3
1990	253,574	253,574	253,574
1991	254,694	254,694	254,694
1992	255,690	255,690	255,690
1993	256,653	256,653	256,653
1994	257,598	257,790	257,790
1995	258,532	258,799	258,799
1996	259,458	259,761	259,761
1997	260,377	260,949	260,949
1998	261,290	261,969	261,969
1999	262,195	262,927	262,927
2000	263,007	263,811	263,811
2001	263,839	264,678	264,678
2002	264,671	265,531	267,243
2003	265,497	266,371	268,759
2004	266,313	267,198	269,910
2005	267,115	268,011	270,893
2006	267,903	268,811	271,798
2007	268,672	269,595	272,662
2008	269,422	270,362	273,500
2009	270,148	271,108	274,320
2010	270,847	271,832	275,123

表-14 宅地面積の将来推計値

西暦	ケース1	ケース2	ケース3
1990	1,541	1,541	1,541
1991	1,569	1,569	1,569
1992	1,596	1,596	1,596
1993	1,623	1,623	1,623
1994	1,651	1,656	1,656
1995	1,679	1,687	1,687
1996	1,709	1,718	1,718
1997	1,739	1,757	1,757
1998	1,770	1,791	1,791
1999	1,802	1,825	1,825
2000	1,831	1,857	1,857
2001	1,862	1,890	1,890
2002	1,895	1,923	1,989
2003	1,928	1,956	2,050
2004	1,961	1,990	2,097
2005	1,995	2,025	2,139
2006	2,029	2,059	2,178
2007	2,064	2,095	2,217
2008	2,098	2,130	2,255
2009	2,132	2,165	2,294
2010	2,166	2,200	2,332

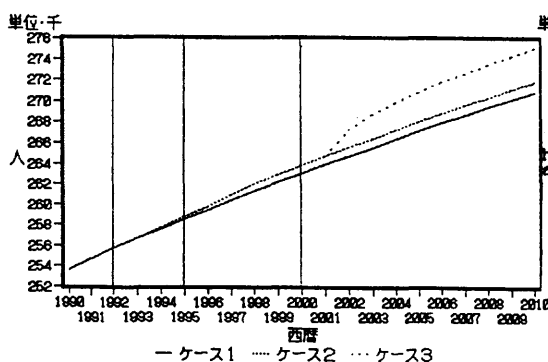


図-11 人口の将来推計値

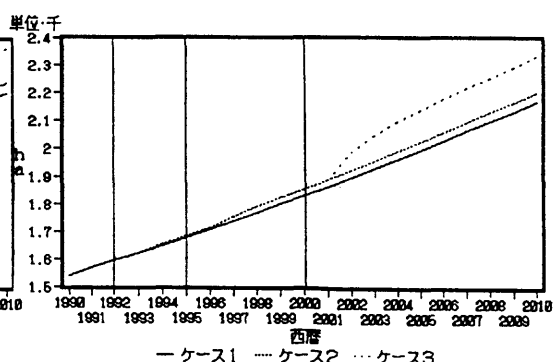


図-12 宅地面積の将来推計値

3-3 考察

今回作成したモデルを用いて、福井市都心部における都心整備水準の差異による将来像を検討した。従来用いられていた回帰モデルよりもシステムダイナミクス法の適用が有効な手法であり、複雑な社会システムの推計の処理を可能にする。従って本研究で得られた推計値は、ある程度評価しうる推計値として捉えて良いといえる。

しかしながら、推計値に絶対の信頼度があるというわけではなく定数、テーブル関数の設定によ

り推計される挙動に大きな差異を生じる。また関連性を求める余り無理な指標同士を関係させると、将来推計の際に突然乱れる危険性を含んでいる。しかしモデルの適合性はリアル・データが存在するまでであり、それによって判断を下さなくてはならない。

表-15 都心魅力度の将来推計値

西暦	ケース1	ケース2	ケース3
1990	1.009	1.009	1.009
1991	1.007	1.007	1.007
1992	1.004	1.014	1.014
1993	1.000	1.014	1.014
1994	0.995	1.011	1.011
1995	0.990	1.020	1.020
1996	0.984	1.020	1.020
1997	0.978	1.016	1.016
1998	0.967	1.009	1.009
1999	0.957	1.000	1.000
2000	0.947	0.990	1.082
2001	0.937	0.980	1.109
2002	0.926	0.969	1.114
2003	0.915	0.958	1.110
2004	0.903	0.945	1.101
2005	0.890	0.933	1.090
2006	0.877	0.919	1.077
2007	0.862	0.905	1.063
2008	0.847	0.889	1.049
2009	0.831	0.873	1.034
2010	0.814	0.856	1.018

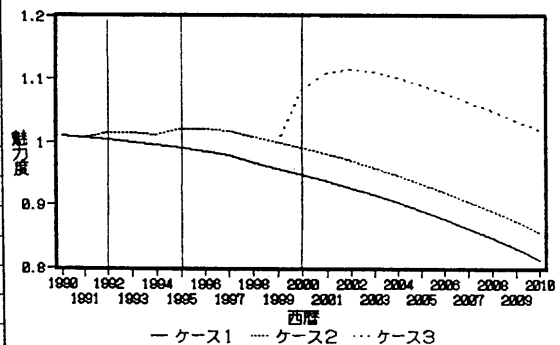


図-13 都心魅力度の将来推計値

4. まとめ

本論文では福井市の現況を捉えて、都心の活性化の必要性を説いた。その後にコンパクト化を図る意味での地下空間整備の必要性を示した。福井市は全国でも有数の自動車中心社会であり、これを反映し必要とされているものは都心内における多目的の時間貸し駐車場の増設である。立地条件及び諸問題の解決策として公共用地である道路地下に立体的整備を施す案を想定した。都市計画を行うためには事前調査が当然必要であり、波及による効果も十分把握しておかねばならない。複雑に入り組んだ地域構造を予測するのに最も適した手法がSD法であり、本研究では都心立体整備による波及効果を捉えるためにモデルを作成し、ほぼ良好といえる効果が得られた。

システム・ダイナミックスの最も困難な問題点として、リアル・システムをいかに慎重かつ的確に捉えるかが挙げられる。リアルシステムの見方一つでモデルの性格は一変する。そのため本モデルもシステムの観察にかなりの時間を費やした。

作成されたモデルは人口、土地利用、トリップの3セクターで包括されており、しかも評価関数を内生化させている。モデルのフロー、定数、テーブル関数については何度となく試行錯誤を繰り返したが、最終結果では理論的挙動をほぼ示していることが確認され、精度がかなり高いモデルであり、出力結果は今後の福井都心部を示唆する上でも一つの方方向性を示したといえる。